

リバティーと第1次世界大戦期の水冷航空発動機(中)

On the Liberty Aero-Engines and Its Rivals (Part 2)

坂上 茂樹*

Sigeki Sakagami

1. はじめに
2. 前史－ホール・スコット社とその航空発動機
3. リバティー発動機の開発と製造
4. リバティー発動機の技術（以上前号）
5. リバティー発動機のライヴァルたち（本号）
6. リバティー発動機の足跡（以下次号）
7. 総括

5. リバティー発動機のライヴァルたち

富塚は、第1次大戦期の航空発動機について次のように述べている。

「大戦末期ごろの花形はというと、戦闘機用としては、フランスのイスパノ、爆撃機用としては、イギリスのロールス・ロイスであったと見て外れてはいない。アメリカのリバティーも大戦末期に参加、馬力の大きいことと量産で名を上げたが、ロールス・ロイスあたりに比すれば拙速製品であるをまぬがれず、大飛行ではあまり愛用されず、ロールス・ロイスが最も信頼されたのである」（『内燃機関の歴史』初版～第3版83頁、第4、5版85頁）。

そこでまず、リバティーのライヴァルとおぼしき列形航空発動機について瞥見してみよう。

5.1 ロールス・ロイス“イーグル”

リバティーの出現当時、400～450馬力級の実用航空発動機は量産されていなかった。この意味で出力的に一番近い所にいた“量産”発動機は、ロールス・ロイス“イーグル”であった。“イーグル”はリバティー開発時、多分に参考とされ、先に見たようにリーランドに対して委託生産の打診までなされた発動機である。それはまた、当時イギリス、あるいは世界の最高峰と目される遊星

歯車減速機付き航空発動機であった。それが原動機一般の例外ではない以上、航空発動機の比出力向上の筋道として高回転化が重要な地位を占めることは論をまたない。この点、プロペラ直結式のリバティーは若干の古めかしさを隠せない。

しかし実は、発動機本体うんぬんとは別に、遊星歯車として平歯車^{スパーギヤ}を3個用いる“イーグル”の遊星歯車式減速装置そのものに対しては評価が分かれている。おおむね戦前の文献では、低い評価しか与えられていない。旧式化した技術であったからか、富塚『航空原動機』や神蔵『航空発動機の設計』などにおいては言及すらない。日本飛行学校『飛行機発動機學講義』には名指して明確に「此歯車装置の設計は極めて巧妙であるが、製作技術の不熟練の爲か兎角故障を起こし易い欠点がある」（155頁）と述べられている。

その後、3個の遊星歯車（ただし斜歯歯車^{ヘルカルギヤ}）を用いる例はヒルト（Hirth [独]）のような小出力発動機にも見られたが、遊星歯車式減速装置の主流はローレン“ペトレル”，グノーム・ローン“ミストラル・メジャー”，アームストロング・シドレー“ジャガー”，ライト“サイクロン”，P&W“ホーネット”，“ワズプ”のように駆動力分散化のため、遊星歯車を5～10個以上用いるモノへと移行した³³⁾。

しかし、その評価が常に高かったというわけではない。ちなみに、東京瓦斯電気工業技師東彌三は減速装置の故障には：

「軸承の故障と歯輪及びプロペラ軸の故障とがある。歯車の故障は加速、減速等の運転を急激に行ふ場合、又は発動機の振り振動、プロペラの振動等に基づく負荷の急激な変化の場合の歯車の調心作用の完全でない場合に起る恐れがある。負荷の齊一と調心作用の點では

* 大阪市立大学教授
Osaka City University, Prof.

[差動装置のように傘歯車で構成された]ファルマン型が最も優秀であって、ロールス・ロイス「新・平歯車式」の如き、又はスパー歯車の遊星歯車式のもの[ロールス・ロイス：旧]ではファルマン式に多少劣る欠点がある。殊にスパー歯車を用いた遊星歯車式の負荷を齊一にするためには工作には相当困難がある。」

と述べている（〔 〕内引用者補）³⁴⁾。

また、航空官坂本定治は、

「減速装置には平歯車装置と、遊星歯車装置とがある。前者は構造が簡単で取扱い易く故障も少ないが、後者は構造が複雑で部品の数も多いため故障も亦多い。……遊星歯車装置のものは固定歯車のカジリを生ずることがある。これは構造、工作、材質などに起因する場合が多い様に思はれる」

と評している³⁵⁾。

これほどとやかく言われた割に、その後、量産性の面で優る平歯車を用いた遊星歯車式減速装置の版図が拡大した。2000馬力からスタートしたライト R-3350 系「デュプレックス・サイクロン」などには、実に20個もの遊星歯車を配した減速装置が結合されている。この混み入った装置は伝達効率99%を謳われたが、発熱を抑えるため遊動軸受には圧力注油を施し、遊星歯車にはかみ終り側に潤滑油を低圧噴射する念入りな措置が講じられていた³⁶⁾。

ことほど左様に、歯車減速装置はレシプロ航空発動にとってはやっかいな必需品であり続けた。富塚は「イーグル」の減速装置について、

「この凝った装置はロールス・ロイス社にしてはじめてできるものであり、他社では全然真似しなかった。分解修理は禁止。もし故障を起こしたらという懸念もなくはなかったが、実際にその要もなかったようだから、さすがはロールス・ロイスだけのことはある」(『内燃機関の歴史』初版～第3版87頁、第4・5版89頁)

と全く正反対の評価を与えている。おそらく、いずれの説にも部分的真理はあったであろう。しかし、ロールス・ロイス社はこの神経質な装置にこりたものと見え、ほどなく平歯車を用いるより単純な減速装置に移行している。逆に「他社では全

然真似しなかった」わけではなく、遊星歯車三つのヒルトを始め、遊星歯車式減速機を用いる例は時とともに拡大していった。こういった状況からみて、ロールス・ロイス「イーグル」の技術を絶対視するのはいかなものかと思う³⁷⁾。

続いて発動機本体について瞥見しておこう。1906年創業のロールス・ロイス(Rolls-Royce, Ltd.)における航空発動機開発は'14年から開始された。「イーグル」(OHC 60° V 12)は1916年の試作完成以来、225 HP/1800 rpm (101.6×146.05 mm) から'17年のⅧ形 350 HP/1800 rpm [最大 375/2000] (114.3×165.1 mm) まで大戦期を通じて急速に発展し、ハンドレページ 0/400 形重爆撃機 (275 HP 双発)、同 V/1500 形重爆撃機 (350 HP 4 発)、ヴィッカーズ・ヴィミー爆撃機 (同双発)、フェアリーⅢA～ⅢD 前期形などに用いられた。戦後、ヴィミー機は大西洋無着陸横断飛行を始めとする遠距離飛行に用いられた³⁸⁾。

既に'17年には「イーグル」を 139.7×190.5 mm に拡大した「コンドル」550 (最大 600) HP の開発が始まっていた。しかし、その完成は戦後に持ち越されたから、リパティエのライバルは「イーグルⅧ」ということになる³⁹⁾。

「イーグルⅧ」の重量は不明であるが、1923年の360馬力形「イーグルⅨ」は単体乾燥重量305 kg と、著しく軽量であった⁴⁰⁾。「イーグルⅧ」のクランク軸には、これまでに言及されたとの列形航空発動機にもなかったつり合いおもりが12個取り付けられ、その内部応力は相殺されていた。もちろん、これは主軸受寿命延長を狙った措置である。ガンストンは「イーグルの後期形はオーバーホール間隔を100時間から180時間へ延長するというあまり例のない方針を打ち出し、信頼性の高さを示した」と述べている⁴¹⁾。つり合いおもりなどはおそらく最初からの手当てで、この回帰延長の件との間に直接的因果関係はなからうが、ロールス・ロイス発動機の軽量性はただ軽くすれば事足れり、といった発想とは一貫して無縁な「高品質の証」であった。

'20年代、その非力さゆえに「イーグル」はネピア「ライオン」などに押されて消えた。また、それが最も必要とされた時期においては、量的不足が最大の問題であった。生産システムが試作工場的であったため、設変要求への対応が容易で

あったとは言え、生産性の点で“イーグル”はリバティーに遠く及ばなかった。

……生産計画は大いに促進され、一九一八年の七月一日から一〇月一日までの……三ヶ月間に七五四五基のリバティ・エンジンが生産され、一〇月の一ヶ月間にはほぼ四〇〇〇基の生産量に達した。日産にして一五〇基である。イギリスではロールス・ロイス・エンジンの日産額が一〇基をこえたことはなかった⁴²⁾。

6 000 人の従業員を擁するリンカーンの工場では最盛期：

1 日 50 基のエンジンを生産していた。これは 1 万人の従業員を有し、航空機エンジンの製造に 3 年の経験をもつロールス・ロイスの 1 週間分の生産量に匹敵するものであった⁴³⁾。

5.2 ネピア“ライオン”

リバティーの有力なライヴァルになり損ねた発動機として 1908 年創業の印刷機メーカー、ネピア [Napier & Son, Ltd. 英] が航空発動機製造事業参入を果たした処女作である。かの“ライオン” (DOHC 60° W-12139.7×142.875 mm, ϵ : 5.8, 450 HP/2 000 rpm. ないし ϵ : 5.0, 425/2 000, 単体乾燥重量 441 kg, 平歯車 (直歯) 減速装置, 放熱器, 冷却管込みの乾燥重量 513.7 kg) の名が挙げられる。

後にリバティーならぬ“イーグル”駆逐に活躍した“ライオン”は 1917 年 4 月に試運転に成功したとはいえ、残念ながら大戦中は開発段階にあった。そのうえ、鍛鋼削出しの頭部一体独立気筒に軟鋼製水套を溶接し、頭部を 4 気筒一体の軽合金製弁室で連結し、イスパノ様のダイレクトアタック式を DOHC 化した動弁機構を載せ、主軸受にコロ軸受まで採用し、29/44 のギヤ比を有する平歯車式減速装置を従えたこの怪物は、開発当時、完成しても量産に乗せられる発動機になるとはみなされていなかった。

戦後、完成したフェアリⅢ形水上機はそのⅢD 後期形以降“イーグル”を“ライオン”に切り替え、'26 年のⅢF には 570 HP/2 585 rpm 形のそれが搭載された。また、レース用“ライオン”は水上機の国際速度競技、シュナイダー・トロフィー・スピード・コンテストの'22 年の優勝機

“スーパーマリーン・シーライオンⅡ”および'27 年の優勝機“スーパーマリーン・ネピア・S5”に搭載され、後者は 1 400 HP/3 900 rpm. の性能を発揮した⁴⁴⁾。

5.3 イスパノ・スイザ“H 形”

1911 年に高級自動車メーカーとして創設され、'15 年から航空発動機に参入したイスパノ・スイザ [Société D'Exploitation des Matières Hispano Suiza 仏] も富塚のコメントに示唆されるように、先端技術の意匠を凝らした作品であった。リバティーの直接のライヴァルは 1916 年 12 月に登場し、8 323 基製造された“H 形” (90° V-140×150 mm, 300 HP/1 600 rpm [最大 340/1 800]), 重量 270 kg である。動弁機構はダイレクトアタックの SOHC で、気筒はフラットな頭部と一体に鍛鋼から削り出された気筒を、4 気筒分/頭部ガス流路/胴部水套とも一体铸造のブロックにねじ込む構造であった⁴⁵⁾。当時、イスパノのより小形の発動機は高回転化が進み、平歯車式減速装置付きとなっていたが、この“H 形”は直結式であった⁴⁶⁾。ただし、ここまでで紹介された列形発動機の中では初めて、吸気弁啓開点が 10° BTDC と早められており、高回転形とはなっている。このためか、リバティーの 88% @ 1 450 rpm に対して 93% @ 1 600 rpm と、体積効率の点でかなり優っていた⁴⁷⁾。

“H 形”は後に最大実馬力 375 HP とレートされている。しかしリバティーの出力レンジに食い込む公称 350 (最大 400) 馬力 (やがて公称 450 [最大 600] 馬力) の“50 系” V 形 12 気筒発動機が登場するのは 1924 年ころであった。イスパノ発動機はフランスではニューポール 29 形戦闘機、スパッドⅦ, XⅢ, 20 (“エルブモン”) および 27 形戦闘機、スパッド XⅠ 形複座偵察機、スパッド“エルブモン”水上機などに、イギリスでは王立航空機工廠 SE 5, SE 5a 形戦闘機に使用された。後者はウーズレー発動機の代替用であった。三菱内燃機、三菱航空機時代の三菱でライセンス生産されたこのイスパノ発動機についても、近く再論する機会があらう⁴⁸⁾。

5.4 ダイムラー“メルセデス”

第 1 次大戦期、ドイツの水冷航空発動機界においては 180° クランク式 V 8 発動機の振動が忌避されたためか、直列 6 気筒発動機が全盛を謳歌し

ていた。初期には直列4気筒60~70 HP 発動機といったモノが製造され、やがては連合側への対抗上、V形12気筒発動機への移行に迫られはしているが、実用量産化された列形水冷航空発動機のはほとんどは直列6気筒ばかりであった。その中でも一頭地を抜く存在感を発揮したダイムラー社(Daimler-Motoren-Gesellschaft)製“メルセデス”航空発動機は、K.マイバッハによって開発された飛行船用発動機から始まった。しかし、その作品はいずれも2~3 kg/PSといった鈍重な代物で、1913年の飛行船用発動機撤退までこんなものが製造され続けていた。その最終形であるJ4L(L4-135 PS/1 400 rpm.)は1909年より飛行機用としても供給され、当時はこれが最大の飛行機用発動機と称されていた。東京瓦斯電気工業(本所業平工場→大森発動機製作所)では陸軍向けにル・ローン70 HP, 120 HP [計361基], サルムソン230 HP [仏数量不明]とともに、“メルセデス”100 HP [58基], 130 HP [113基]が製造された⁴⁹⁾。このうち、100 HP形はモーリス・ファルマン複座偵察機などに使用されている。

1914年には戦争を意識した開発の成果として、ロールス・ロイス“イーグル”やリパティエーの設計に多大の影響を及ぼした“メルセデスDⅢ”(OHC 6 L-140×160 mm, 170 PS/1 450 rpm., 1.6 kg/PS)が投入された。この発動機は2 500 rpm.まで変調なく回転を上げられるバランスと造りの良さを誇り、総計12 163基製造された⁵⁰⁾。これを185 PSに増強したⅢBやV8に組んだ製品(238/1 400), ストロークを180 mmに延長し260 PSとしたⅣaも製造された。260 PS形はルンブラーC形偵察機、ゴータ重爆撃機(双発), アルバトロス戦闘機、フリードリヒスハーフェン爆撃機[双発]などに用いられた。V8発動機(160×170, 185/1 800)や18気筒発動機(V形かW形か不明)も少数作られ、大戦中、最大500 PSのものまでラインナップされたというが、形式名、諸元などは不明である⁵¹⁾。ドイツで大戦中に製造された航空発動機約43 500基のうち、ダイムラーの製造実績はその半数近く、20 000基を数えた⁵²⁾。

5.5 ベンツ“BzⅥ形”

ベンツ(Benz & Cie.)は1912年のDVL(Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt: ドイツ航空研究所)の試験に4 L-130×180 mm, 105 PS/1 350

rpm.の試作発動機で臨み、Arygus-Motoren-Gesellschaftの作品とともにただ2基合格、第1位を獲得した。これを6気筒化した実用機(150 PS/1 300 rpm., 1.6 kg/PS)は'13年以降、2 945基製造された。第1次大戦中、4弁式のBzⅢ形(6 L-140×190 mm, 180 PS), BzⅣ形(6 L-145×190 mm, 230 PS, 1.85 kg/PS)が開発され、6 400基以上製造された。ベンツ発動機はハンザ・ブランデンブルク単葉水上戦闘偵察機などに搭載され、日本海軍でも13式水上機などに使用された⁵³⁾。

一方、ベンツは後者を60° V形12気筒に組んだBzⅥ形500 PS(離昇550 PS)発動機を25基製造(試作)している。単体で1.39 kg/PSと、従前のモノより軽快ではあるが、それでも重量695 kgとなり、かなりの鈍重感是否めない。文献によってはⅥv形として575 PS, 1.2 kg/PS(690 kg)という発動機の名を記載するものもあるが、写真は同一である。この発動機は4弁式で吸排気弁にははさみ角が付与されていた。気化器は吸気加熱機構付きベンツ回転弁式気化器を4個使用。本発動機は高空性能低下防止を狙い、ガソリン性状に対して過大な圧縮比を付与され、低空では絞り弁を絞って運転する超圧縮発動機(super compressionないしhigh compression engine)であった⁵⁴⁾。

本発動機は1918年にツェッペリン・シュターケンR-XⅥ形超大形機に2基搭載された。同機にはこれに加え、ベンツ220 PS発動機が2基搭載されていたが、Ⅵ形のV8バージョンに200および210 PS発動機が存在したというから、補給の効率からしてここで用いられたのは、この200 PS発動機と推定するのが無難であろう⁵⁵⁾。

5.6 マイバッハ“MbⅣa形”

ダイムラーと袂を分かったマイバッハの会社(Maybach Motorenbau GmbH)においても、1909年のAZ形(6 L-160×170 mm, SV4弁式, 145 PS/1 100 rpm.)を皮切りに、一連の航空発動機が飛行船、飛行機用に開発製造された。'13年にはAZ形が180 PS/1 200 rpmに増強され、CX型(6 L-160×190 mm, SV4弁式, 210 PS/1 250 rpm.)も登場した。'14~'15年にかけてDW, IR, HS, HSLuといったOHV4弁式発動機が開発され、出力レンジは240 PSまで拡大せしめられ

た⁵⁶⁾。マイバッハ発動機は“メルセデス”発動機と併用されたほか、敗戦直後はその250 PS形がツェッペリン・シュターケンE・4/2形4発輸送機に搭載されている。

HS形の発展形であるMbIVa(飛行機用)、MbIVaL形(飛行船用)は6 L-165×180 mm, OHV 4弁式, 260 PS/1 400 rpm. のスペックで'16年に登場。本形式もまた、高空性能を主眼として過大な圧縮比を付与された超圧縮発動機であったが、出力に比して過大な排気量を与えられていたため、過大発動機(Übermessender Motor [over-size engine])とも過大高圧縮発動機(Übermesser und überverdichter Motor [oversized high compression engine])とも呼ばれる。この方式は過給技術が未発達であった第1次大戦当時、ドイツで盛行した技術であった。発動機の体躯が大きくなるため振動が増すなどの欠点はあったが、確かに気筒容積増大といった措置は、回転気筒空冷星形発動機には採り入れにくい手法ではあった。マイバッハ260 PSは初期の国産民間機にも使用された。とりわけ川西航空機は1920年ごろ、上海の商社が在庫していたMbIVa 260 PS十数基を入手、以後、ホールスコット200 HP搭載機に続く一連の新形機を世に問い、斯界における地歩を固めた⁵⁷⁾。なお、このMbIVaは戦後、ディーゼル化されたことでも知られている。

'17~'18年にはMbIVを10°だけ開いたツインバンクに組んだMbVII形(2×6 L)が開発された。飛行機・飛行船用と表記されたりもしているが、500 PS/1 400 rpm. ないし600 PS/1 500 rpm. の出力ながら、重量が880 kgもあり(最大出力時で1.47 kg/PS)、飛行機用発動機と呼ぶには鈍重に過ぎる代物であった⁵⁸⁾。

5.7 BMW “III形”

過大発動機に関してマイバッハより著名なBMW (Bayerische Motoren Werke AG.) の製品は、第1次大戦当時、ユンカースD・I形戦闘機などに搭載されたIII形(6 L-150×180 mm, 185 PS/1 400 rpm.)まで。その出力はIIIa強力形の220 HP/1 400 rpm. 止まりであったから、リバティーとは比較対象外であった。

敗戦後の航空事業制限を経てIII形のボア・ストロークを10 mm延長したIV形(250 PS)が'21年に登場。IIIaをV形12気筒に組んだV形、IV

をV形12気筒に組んだVI及びVII形といった日本にもゆかりの深い12気筒発動機(360~440 PS)が登場するのは20年代中葉であった⁵⁹⁾。

5.8 フィアット “A 12形” “A 14形”

第1次大戦期において大馬力航空発動機の頂点を窮めたのは、意外にも1898年創立のフィアット(Societa Anomia FIAT [伊])である。戦時中の生産台数は15 000基に達し、有力なメーカーの一つであった。もっとも、量産されたのは1917年に現われ、6 L-160×180 mmのボア・ストロークを有するSOHC 4弁式のA 12系列。圧縮比は4.8と低く、300 PS/1 600 rpm(最大328/1 800)、乾燥重量385 kgのスペックであった。多様な機種展開もなされたい。ガンストンは「1916年から19年にかけて13 260基を超える[このA 12系列]エンジンが出荷された」と述べている。搭載機種は不明であるが、1915~'18年にかけてイタリアで製造された飛行機の総数が約12 000機とされているから、予備発動機が必要とされる点を割り引いても相当なシェアであった。当時、イタリアの主力機の中で、この発動機を搭載していたと思しきはズバ(SVA)偵察兼軽爆撃機(単発)、カプロニ41形重爆撃機(3発3葉)あたりである。この発動機はセールフレーザー商会を通じて日本にも輸入され、浜松で「天竜第十号」単発旅客機(乗員2名、旅客6名)が製造された⁶⁰⁾。

フィアットは1930年ごろ、A 12 bis形をベースとしてA.N. 1形航空ディーゼル発動機を開発、トリノ~ローマ間の試験飛行に成功したが、その後さしたる発展はなかったようである⁶¹⁾。

A 12形を170×210 mmに拡大し、V形12気筒に組んだのが'17年のA 14形発動機である。外観はA 12形よりかなり近代的であった。εは4.95と低目であったが、出力は当時としては破格の659 PS/1 500 rpm. (最大720/1 700)をマークした。乾燥重量も710 kgと大きく、その迫力は当然リバティー以上であった。この機関車か高速艇用機関のようなサイズを有する作品こそが、第1次大戦期における最も大出力の量産航空発動機であった。その製造台数は500基に達した。搭載機種は不明であるが、まさか飛行船ではなからう。前述のカプロニ重爆撃機の双発形が開発されたケースぐらいしか本発動機を載せるアテはなかったように思われる⁶²⁾。

5.9 “BHP” および AS “ピューマ”

最後に、リバティーのライヴァルなどと称するにはあまりにも役不足であったが、イギリス本国において DH-9 爆撃機（後述）用パワープラントとして開発されながら、リバティーによって代替された BHP 発動機について若干紹介しておく。W. Beardmore によって創立されたスコットランドの William Beardmore & Co. は、1914 年、オーストロ・ダイムラー発動機のライセンス生産を開始し、'17 年までこれを継続した⁶³⁾。この間、改造機種も登場したが成績は不良であった。

ネピア、クレルジェ、フィアットなど、内外の航空発動機の開発に足跡を残した人物である Royal Aircraft Factory の F. B. Halford 少佐の援助を受けてこれを改良した結果が、'16 年に登場したこの BHP (Beardmore Halford Pullinjer) 発

動機である。しかし、出来は極めて悪く、その改良形として再登場し、'17 年 1 月より量産に入ったのがアームストロング・シドレー “ピューマ” である。しかし、その性能（実用上 230～240 HP が限度）および信頼性は、またしても DH-9 への搭載を望む空軍の要求を裏切ったためリバティーに換装されている⁶⁴⁾。

以上の概観および回転気筒空冷星型発動機に関する従前の考証から、リバティー発動機は減速装置付きとなっていなかった恨みこそあれ、第 1 次大戦期においては、おおむね時代の先端に位置する航空発動機であった。そして、それは掛け値なしに“桁外れ”の量産規模を有する、その点においては唯一の 400～450 馬力級実用航空発動機であった。

(つづく)

〔編集部から〕参考文献は次号（下）に掲載します。